



平成19年3月14日
第10回若手科学者によるプラズマ研究会

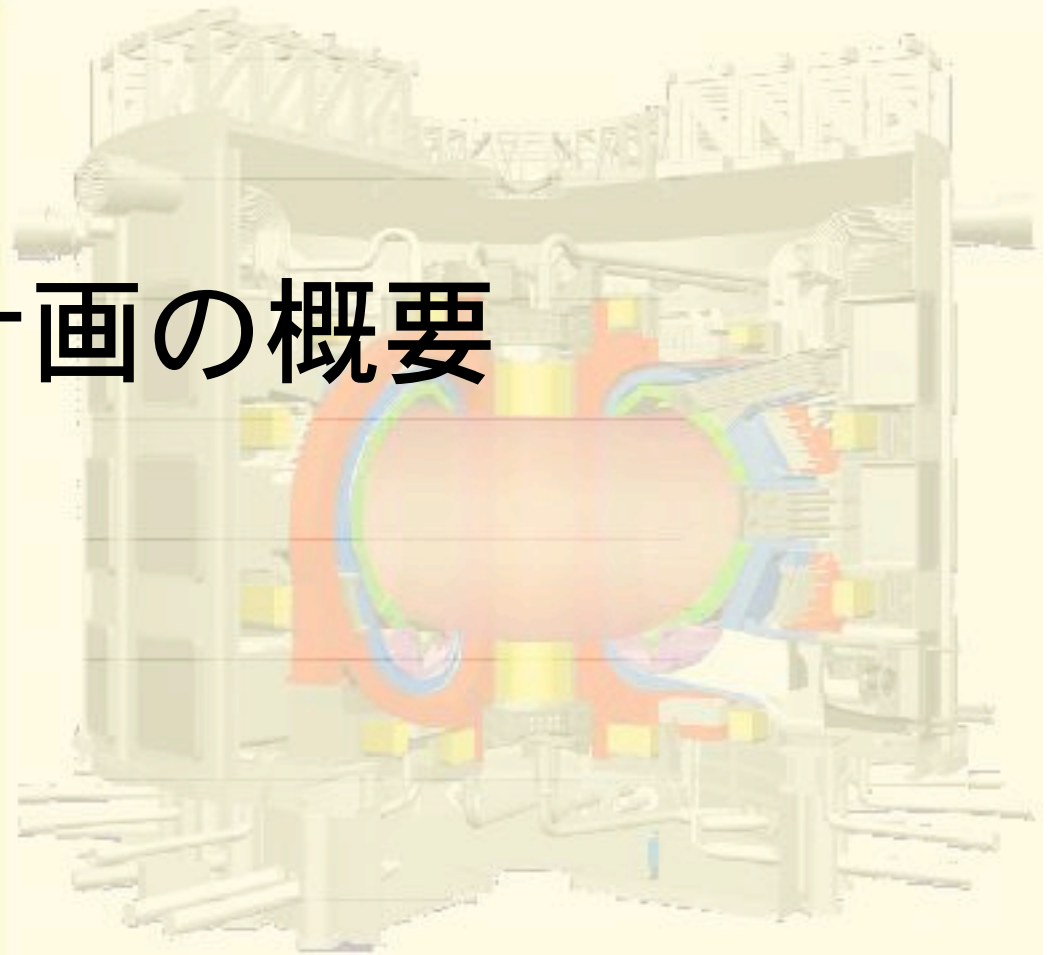
ITER計画の状況

ITER計画の概要
ITER建設に向けての準備

日本原子力研究開発機構
ITERプロジェクトユニット
森 雅博



ITER計画の概要



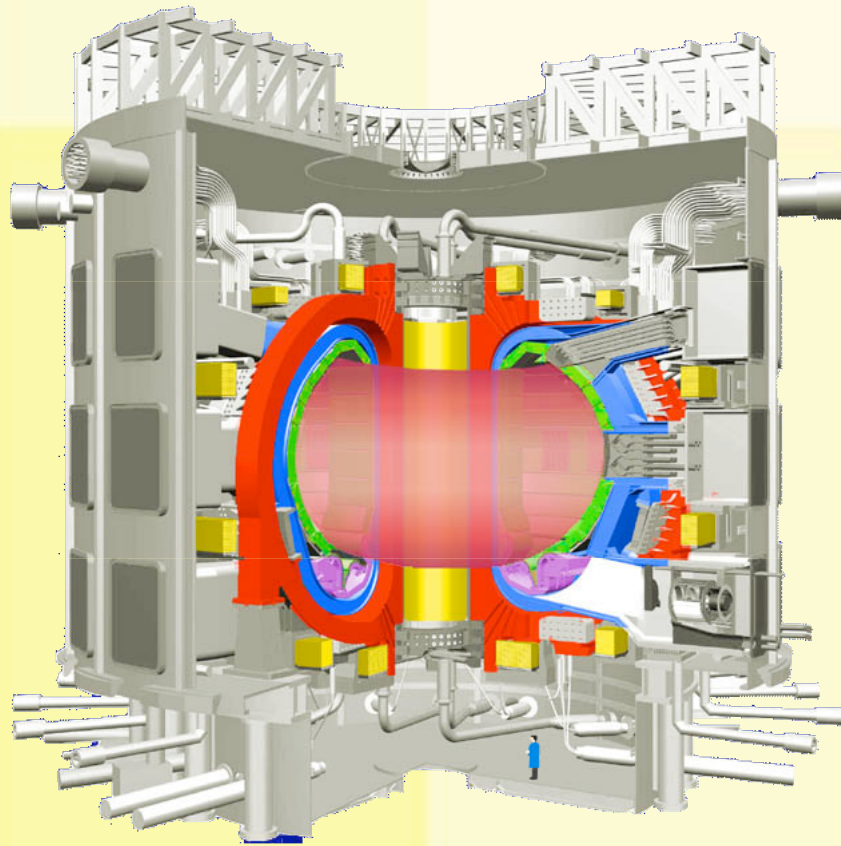


ITER計画とは

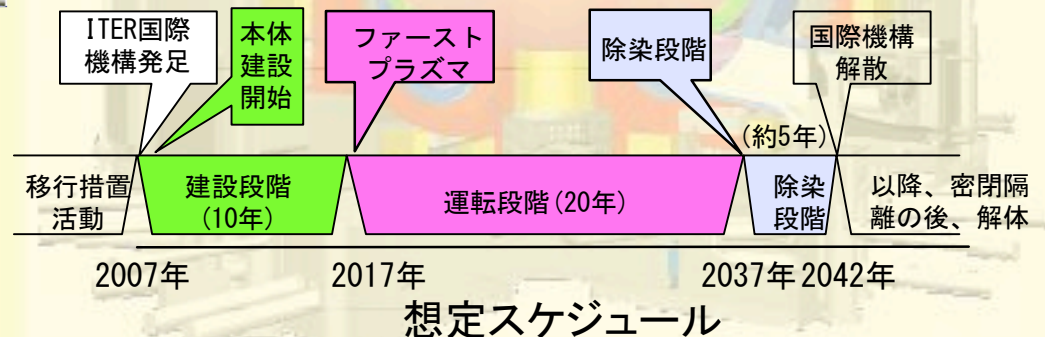
核融合エネルギーの科学的・技術的な実現可能性を実証する。

これを国際共同(日、欧、露、米、中、韓、印)によって実現する。

建設においては、参加極は実施機関(極内機関)を指定し、ITER機器・設備の調達を分担して物納貢献するとともに、極内機関を窓口として、ITER国際核融合エネルギー機構(ITER機構と略)に研究者・技術者を参加させる。



○施設概要
トカマク型実験炉(核融合出力:500MW)
建設地:カダラッシュ(フランス)





ITER サイト : Cadarache



ITERの主要な技術目標

1.炉心プラズマの核融合性能



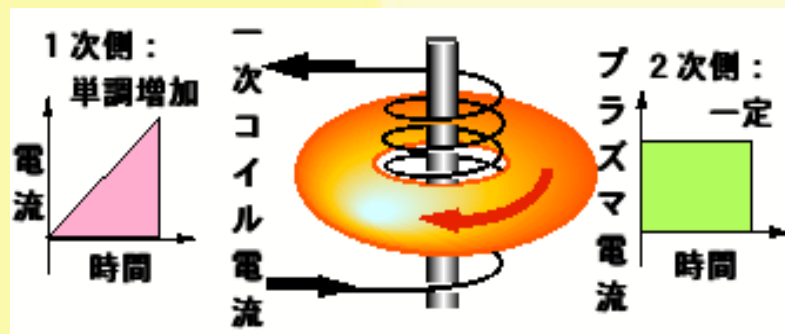
- 誘導運転において、エネルギー増倍率 $Q \geq 10$, 300~500秒間の核融合燃焼を達成 ($Q=30 \sim 50$ の可能性を含む設計)

$$Q = \frac{\text{核融合出力}}{\text{外部入射パワー}}$$

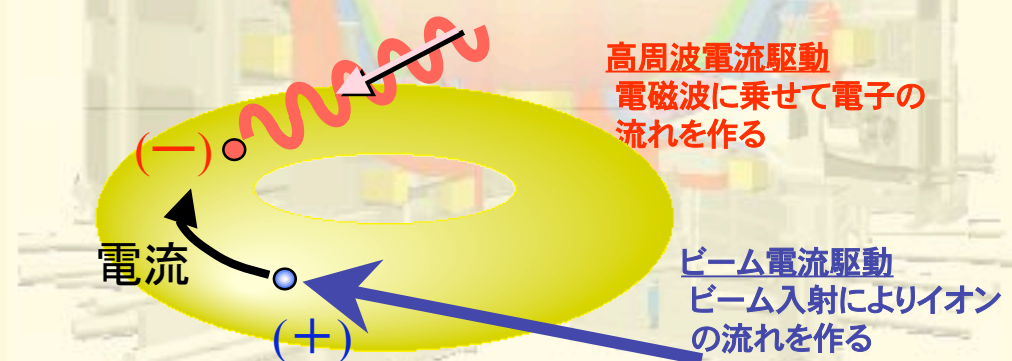
定常運転では、プラズマ中に電流を駆動するために外部入射パワーが必要。そのため、 $Q \sim$ 無限大はあり得ない。発電プラントでは $Q=30 \sim 50$ の定常運転が必要。

- 誘導によらない $Q \geq 5$ の定常運転実証を目指す

従来:トランスの原理(誘導)による電流発生



誘導によらない電流発生例

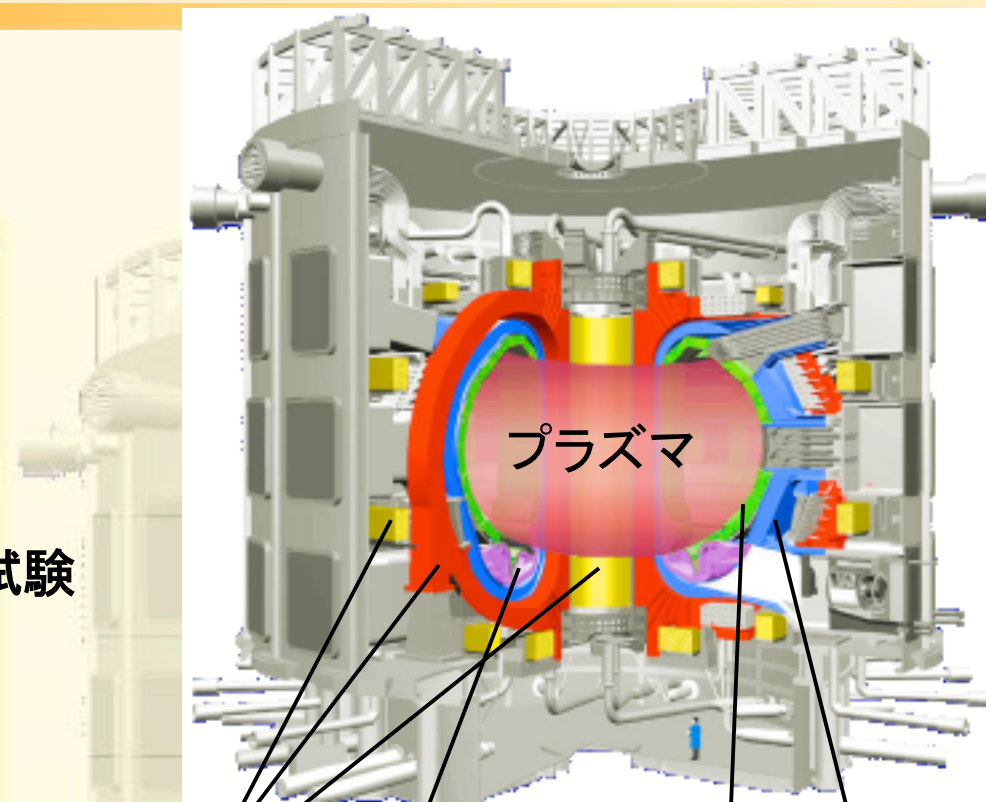


ITERの主要な技術目標

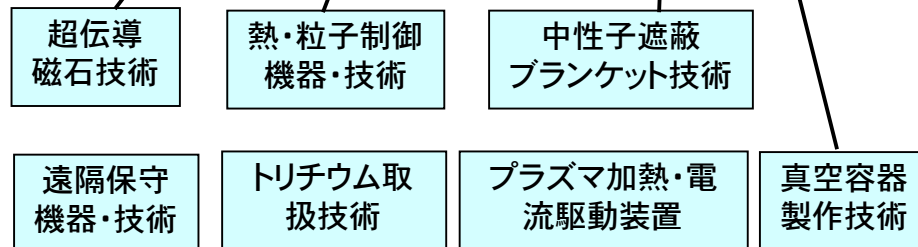


2.核融合工学技術

- 核融合基盤技術を統合し、その有効性を実証。
- 将来の核融合プラントのための工学機器(熱・粒子制御機器等)の試験。
- 発電ブランケットモジュールの試験
第1壁の14MeV中性子負荷:
 $\geq 0.5\text{MW}/\text{m}^2, \geq 0.3\text{MWa}/\text{m}^2$



主要な核融合基盤技術



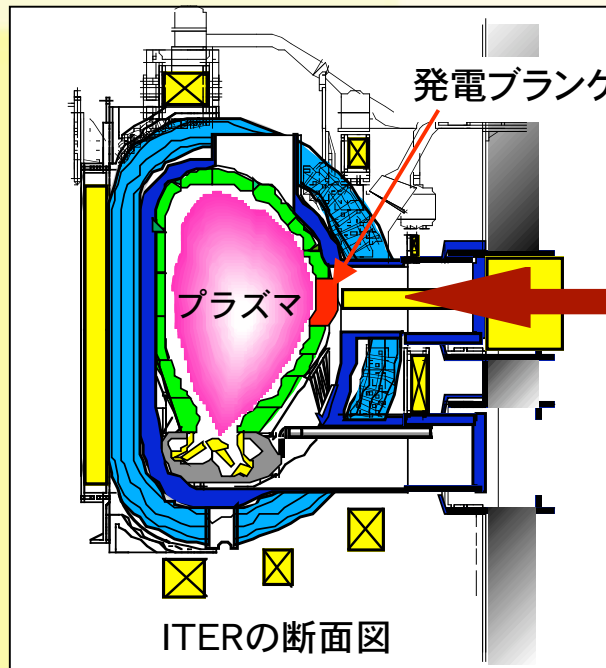
発電ブランケットの総合性能試験



—テストブランケットモジュール計画—

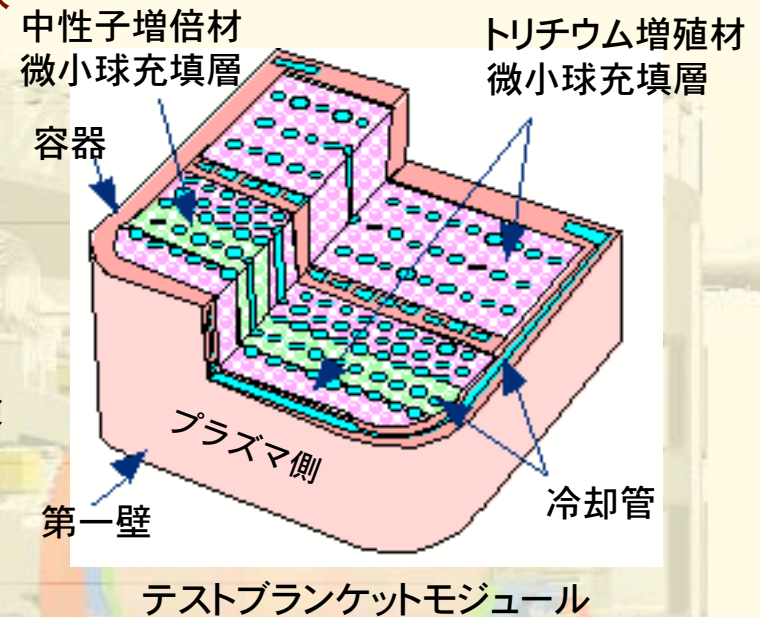
ITERの建設・運転・利用を通して、

- (1) 主要構成機器・システムの統合性能の実証
- (2) 核融合環境下での、発電ブランケットの総合性能試験



ITERを用いた
発電ブランケットの工学試験

- ・トリチウム増殖特性
- ・発電特性



発電ブランケットの役割

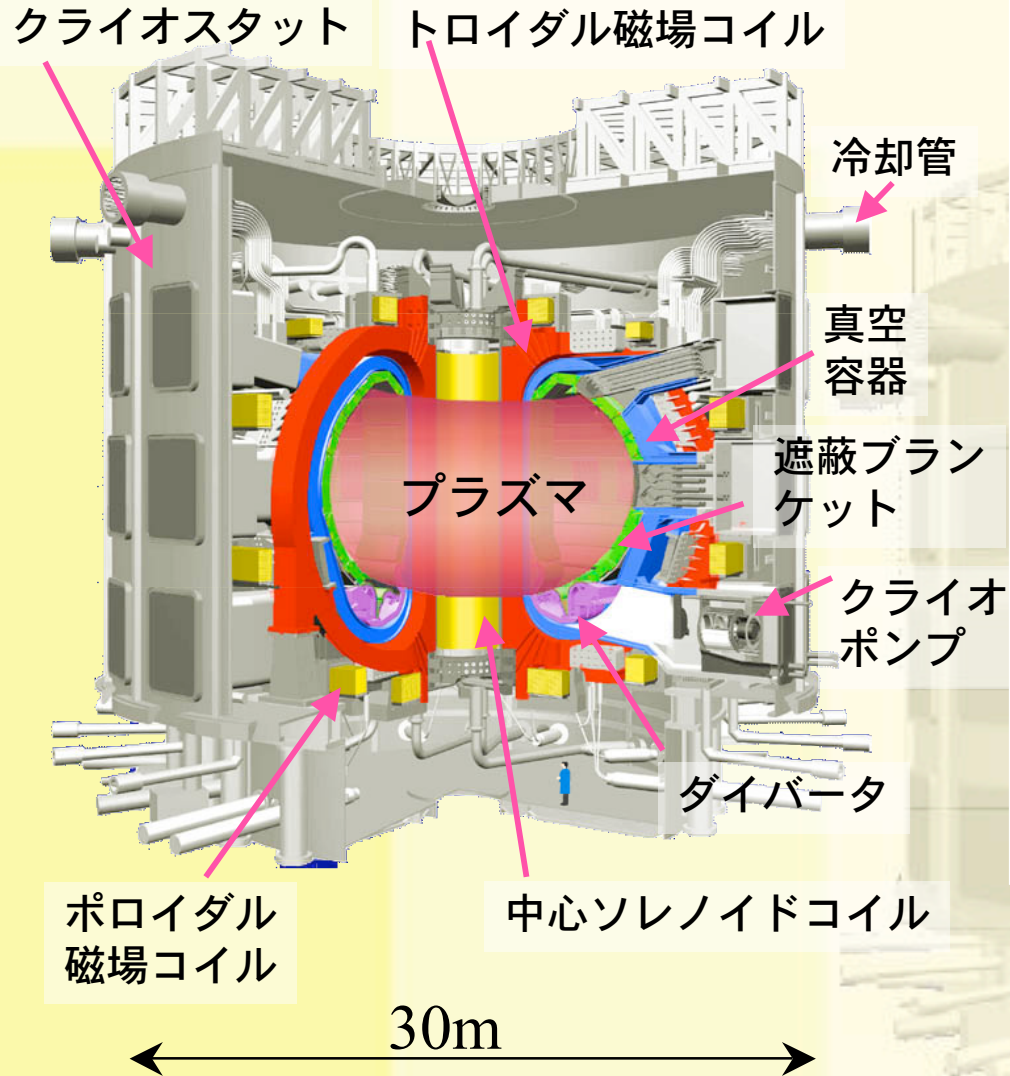
- ・熱エネルギーの取り出し(発電機能)
- ・燃料となるトリチウムの生成(増殖機能)
- ・放射線遮蔽(遮蔽機能)

発電ブランケットの構成例

- ・トリチウム増殖材(Li_2TiO_3 微小球)
- ・中性子増倍材(Be微小球)
- ・構造材(低放射化フェライト鋼)
- ・冷却材(水: 出口温度320~510C)



ITER主要パラメータ



全核融合出力	500MW
Q(核融合出力/ 外部加熱パワー)	≥ 10
平均 14MeV 中性子壁負荷	$\geq 0.57\text{MW}/\text{m}^2$
プラズマ誘導燃焼時間	≥ 400 秒
プラズマ主半径(R)	6.2m
プラズマ副半径(a)	2.0m
プラズマ電流(I _p)	15MA
トロイダル磁場 6.2m半径点(B _T)	5.3T
外部加熱・電流駆動 パワー	73MW ⁽¹⁾

(1) 引き続き運転段階において合計110MWまで増設の可能性がある。

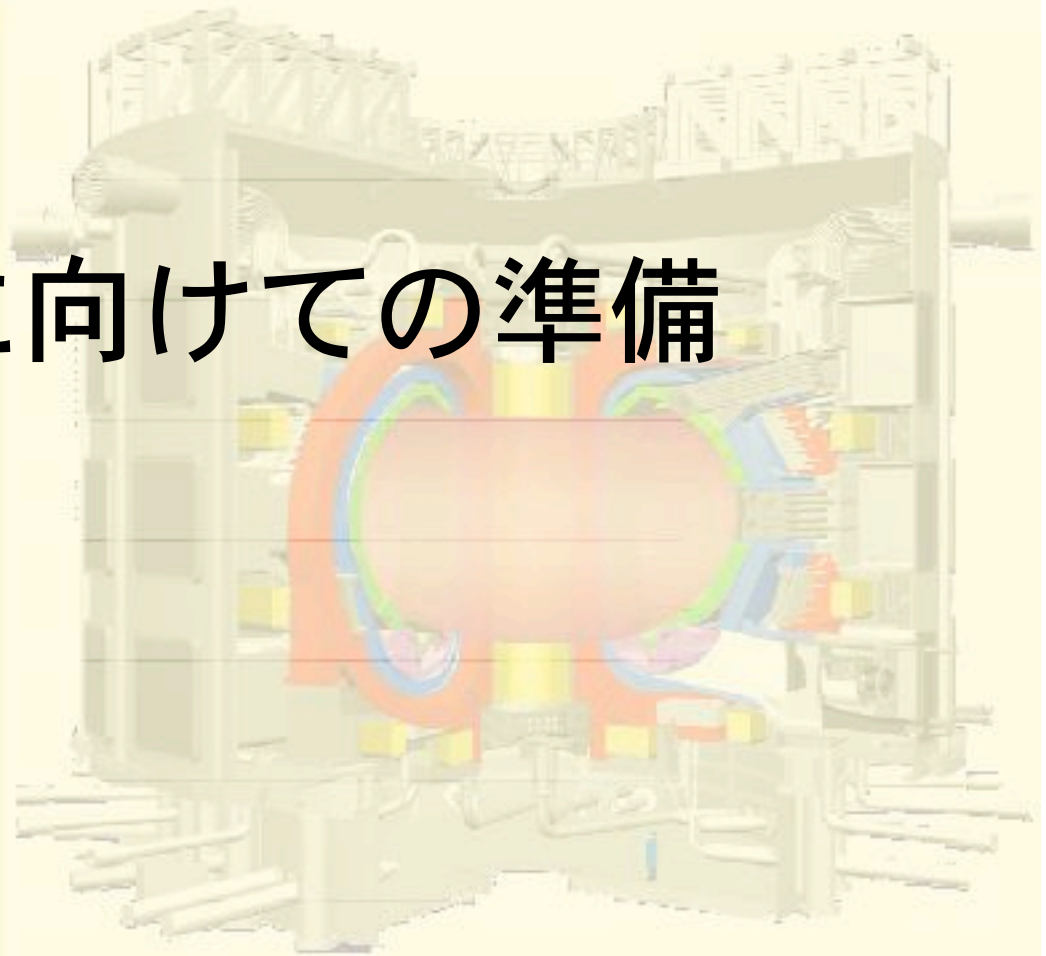
ITERの運転計画



年度	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
マイルストーン		プラズマ性能を主目的とする運転					工学機器・設備の試験を主目的とする運転				
運転スケジュール		<p>軽水素運転 (non-nuclear)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 運転シナリオの試験 ・ 電磁力 (ディスラプション他)、熱負荷、ダイバータ除熱、フェライト鋼の影響等 	<p>点検・検査</p> <p>重水素運転</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ DT運転シナリオの構築・確認 ・ トリチウム取り扱い施設の予備的確認 ・ 放射線環境下での総合試験 (neutronics、計測系) 	<p>重水素トリチウム運転(1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ $Q \geq 10$, 400sec ・ $Q \geq 5$, 定常運転 ・ テストブランケット初期試験、等 	<p>工学試験対応への改造</p>	<p>重水素トリチウム運転(2) 長時間/定常運転</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テストブランケットの本格試験 ・ プラズマ性能の高性能化 ・ トリチウム増殖ブランケット設置の可能性 					



ITER建設に向けての準備





ITER実施協定

◇H18年 11月21日に協定調印。

- ・ 実施協定の暫定適用

- ・ 署名後、可能な範囲で協定を暫定適用し、実質的なITER機構体制で活動を始動。
- ・ ITER機構は仏の法人格を持ち、基金を基に、契約及びスタッフの雇用が可能。

◇H19年 批准、承認

- ・ 各締約極における手続きに従い、全ての加盟極が批准等を行った後、協定が発効し、ITER機構が正式発足（現在2極が国内手続き終了）。

建設に向けたサイトの準備



ホストが実施

ITER国際チームの仮事務所整備

- ・ H18年7月：仮事務所の完成
- ・ H19年2月現在：
第2仮事務所の建設中

ITERサイト（180 ha）の準備

- ・ H19年1月末：樹木の伐採（90ha）を開始
 - 環境への影響を最小化するため90haは森林として残す。
- ・ H19年3月末までに75haの伐採完了予定
- ・ H19年10月にサイト基礎の準備を完了予定

整地、サイト内道路、暫定的フェンスの設置、給排水網の整備等



ITERサイト
伐採、整地の開始

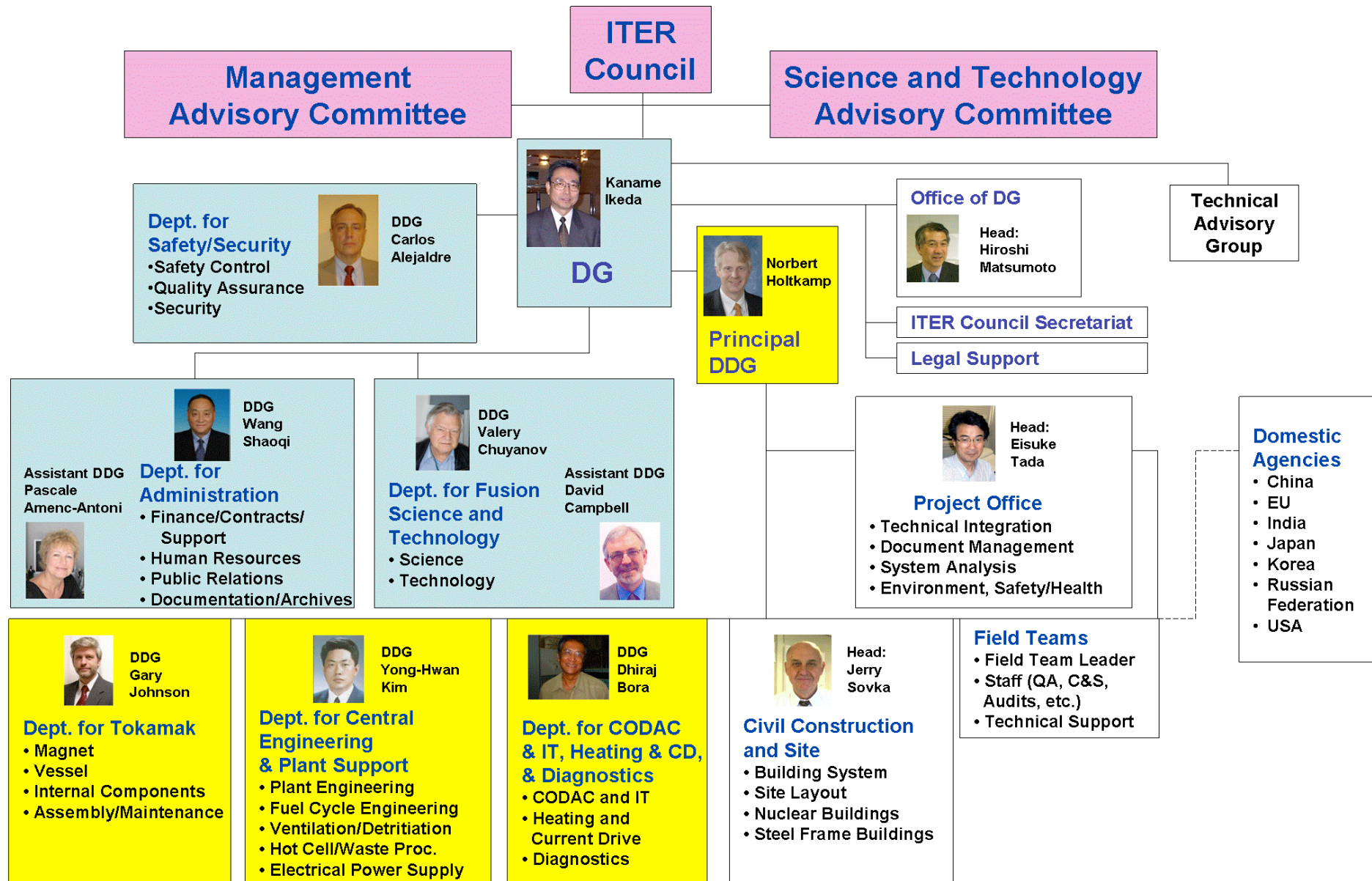




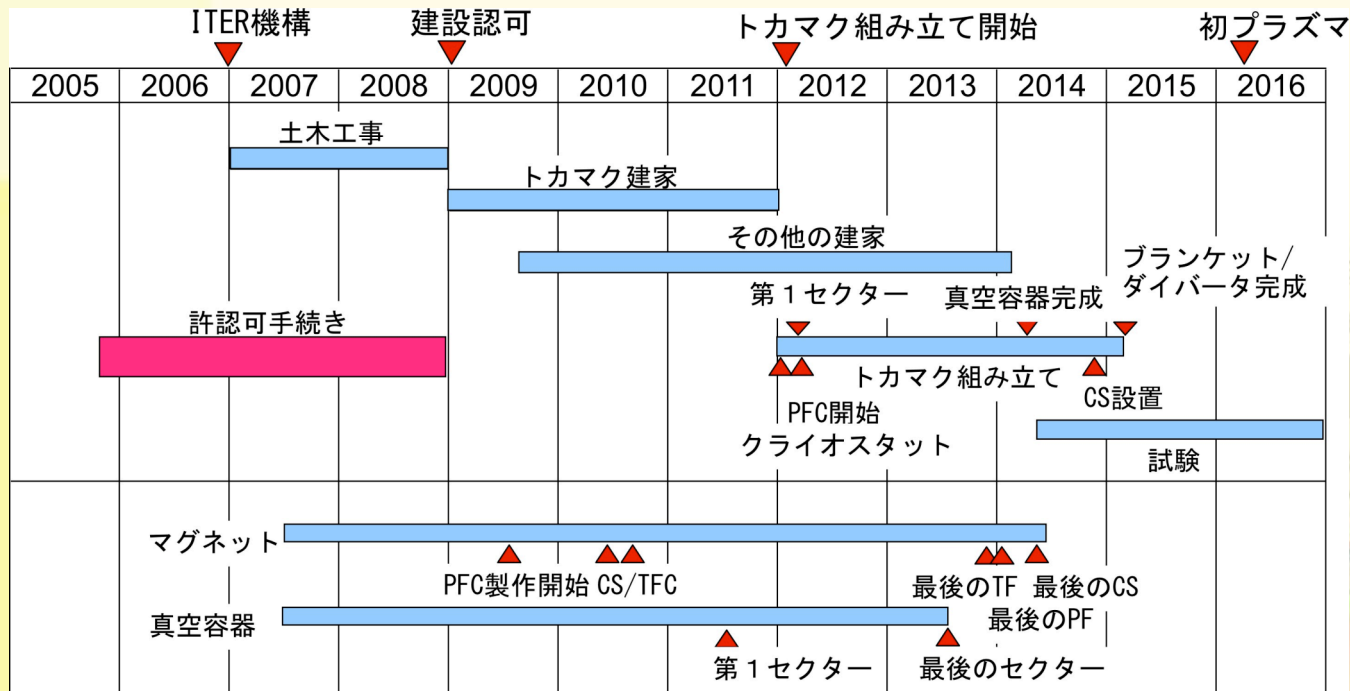
ITER機構の組織の準備

- ◇ H17年12月にカダラッシュ共同作業サイトを開設。
- ◇ H18年3月に池田機構長予定者がカダラッシュに着任。
- ◇ 同年5月に首席副機構長（PDDG）予定者としてEU推薦の Holtkamp氏を承認。
- ◇ 同年7月に池田機構長予定者のイニシアチブのもと組織の基盤整備を進め、各極の推薦を基に副機構長（DDG）予定者6人を決定。
- ◇ ガルヒンクサイト、那珂サイトはH18年末で閉鎖、カダラッシュ共同作業サイトに集結。
 - ・ H19年2月現在で、職員に相当するスタッフ約120人。
この他に滞在研究者10数人、CAD技術者、秘書等約50人。
- ◇ 一般職員約50人をH18年12月～H19年2月に公募。

暫定ITER機構の組織



技術活動



- ・ 調達仕様を確定するための設計・解析・試験
ITAタスク等による各極チームの支援も得て実施
* Nb₃Sn 導体制サンプル性能確認試験、等
- ・ 設計レビュー（国際チームの内部レビュー）
- ・ 計画管理に関する体制整備



設計レビュー

H18年11月～

- ・ 国際チームがITER計画内外の専門家を選定・招聘し実施。
- ・ 設計の最終確認のため、現設計の課題抽出と優先順位付け、解決法とそのために必要な資源の提案
- ・ 最終基本設計（Baseline 2007）の素案をH19年5月に、最終案を11月に機構長から理事会に提出予定
- ・ 8つの作業グループ（WG）を組織

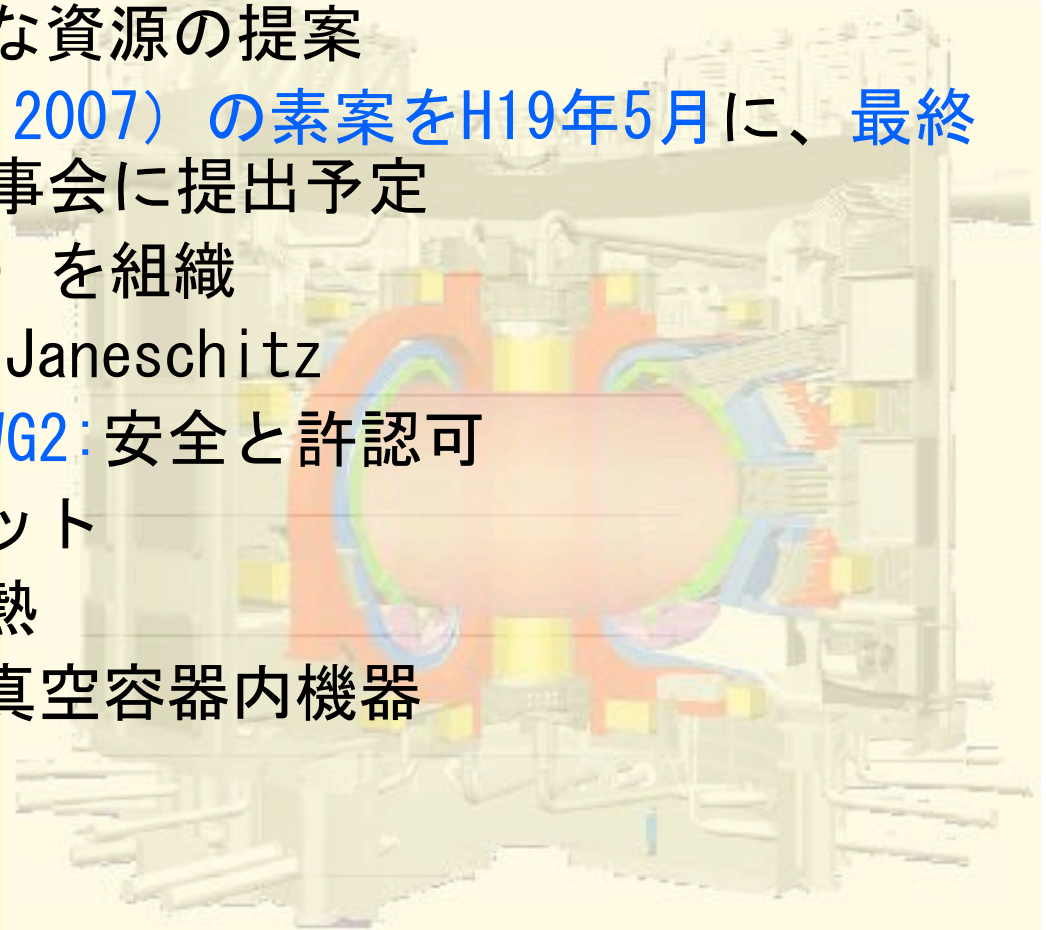
レビューの全体調整：G. Janeschitz

WG1：設計要求と物理 / WG2：安全と許認可

WG3：建家 / WG4：マグネット

WG5：真空容器 / WG6：加熱

WG7：トリチウム / WG8：真空容器内機器





計画管理に関する体制整備

国際チーム、各極チーム合同の作業グループ（WG）で作業実施

* 品質保証計画WG

ITER機構におけるQA関連文書の準備、各DAのQA計画整備支援

* 調達WG

調達管理における規則文書案の作成、調達取り決めテンプレートの作成

* 情報技術WG

ITER機構におけるネットワーク技術、DAとの通信ネットワーク、
文書管理ソフト等に関する主要方針案の作成

* 計画&工程WG

工程管理ツールの決定、工程管理方針案の作成

* CAD WG

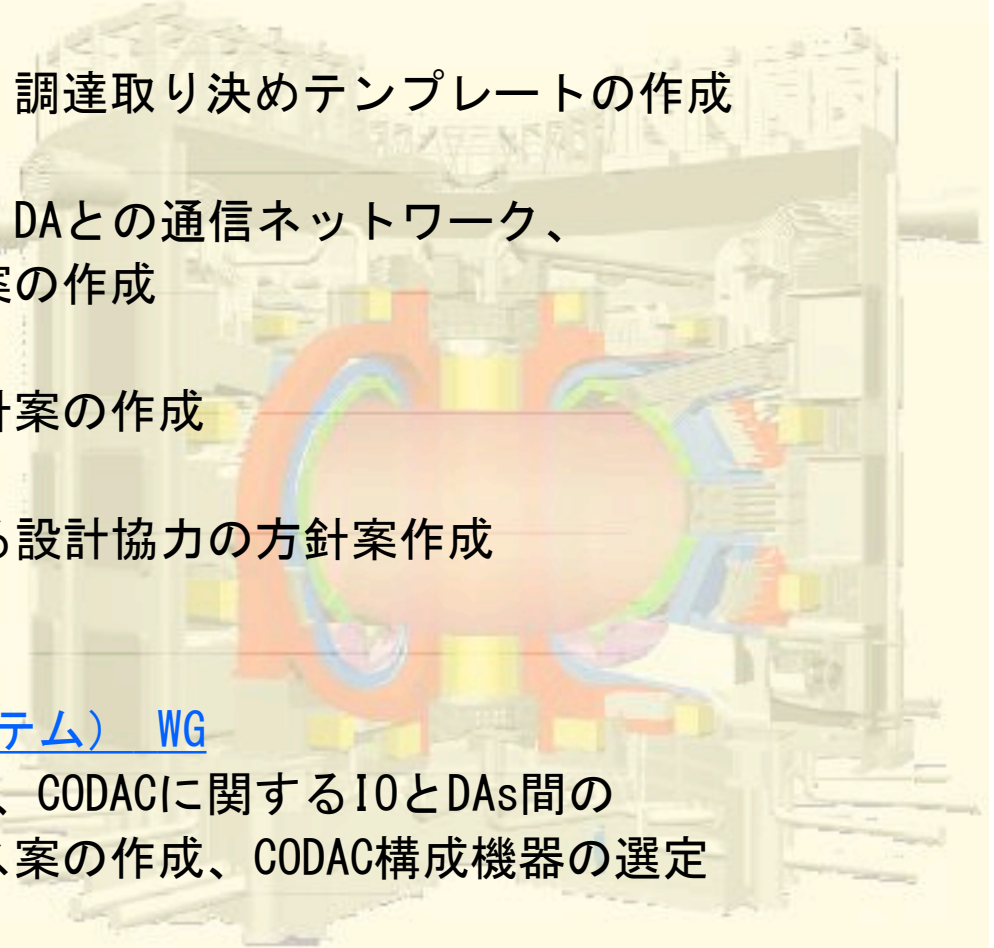
共通CADマニュアルの作成、CADによる設計協力の方針案作成

* 規格基準WG

ITER建設における規格基準案の作成

* CODAC（運転制御計測データ収集システム）WG

CODACの概念設計のレビューと見直し、CODACに関するIOとDAs間の
調整、各極計画とのインターフェイス案の作成、CODAC構成機器の選定





ITER建設における機器調達方式

- 物納による調達

- ITER国際機構との取り決めに基づき、参加極が機器を調達し納入。取り決め仕様を満足することに対し、参加極が責任を持つ。

- 現金による調達

- 参加極からの拠出金を基に、ITER国際機構が機器等を責任を持って直接調達。

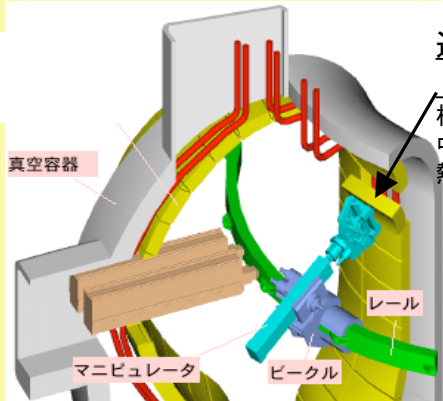
ITERの調達では、物納が約9割で、一部現金貢献を導入するとの共通認識。



日本の調達分担機器

(EUからの調達移譲分を含む)

ブランケット遠隔保守機器 (一部)
遮蔽ブランケットの保守・交換作業を行う遠隔操作機器



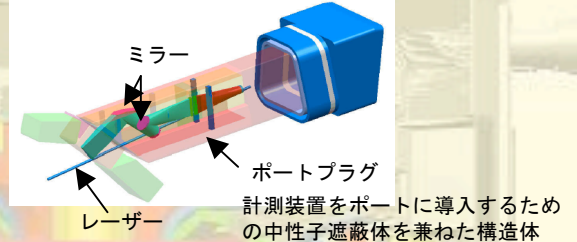
遮蔽ブランケット (一部)
核融合で発生する中性子を遮蔽し、熱を取り出す機器

ダイバータ (一部)
核融合で発生するヘリウムや不純物粒子を排出する装置

中心ソレノイドコイル (一部)
プラズマの立ち上げ、燃焼、立ち下げの制御に必要な磁束を発生する超伝導コイル

超伝導コイル (一部)
高温のプラズマを閉じ込めるための磁場を発生する機器

計測装置 (一部)
プラズマ中のイオンと電子の密度や温度、不純物、中性子等の分布を測定する機器



高周波加熱装置 (電子サイクロトロン波帯システムの一部)
電子レンジの原理で電磁波でプラズマを加熱する装置

中性粒子入射加熱装置 (一部)
高エネルギーの中性粒子をプラズマに入射させてプラズマを加熱する装置

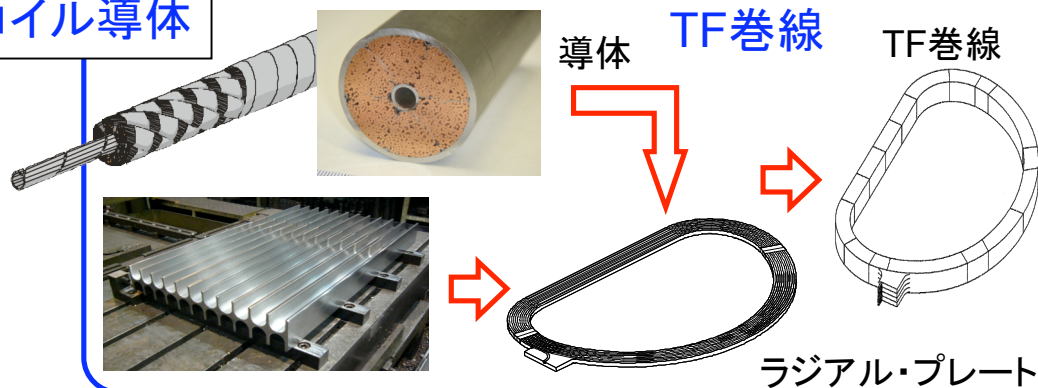
トリチウムプラント設備 (一部)
燃料であるトリチウムの分離回収、精製、処理及びプラズマへの再注入を行うための設備

マグネットの調達準備（日本）



TFコイル巻線、TFコイル構造物では、調達開始に向け、技術的準備が進展。

TFコイル導体



コイル一体化

TF構造物



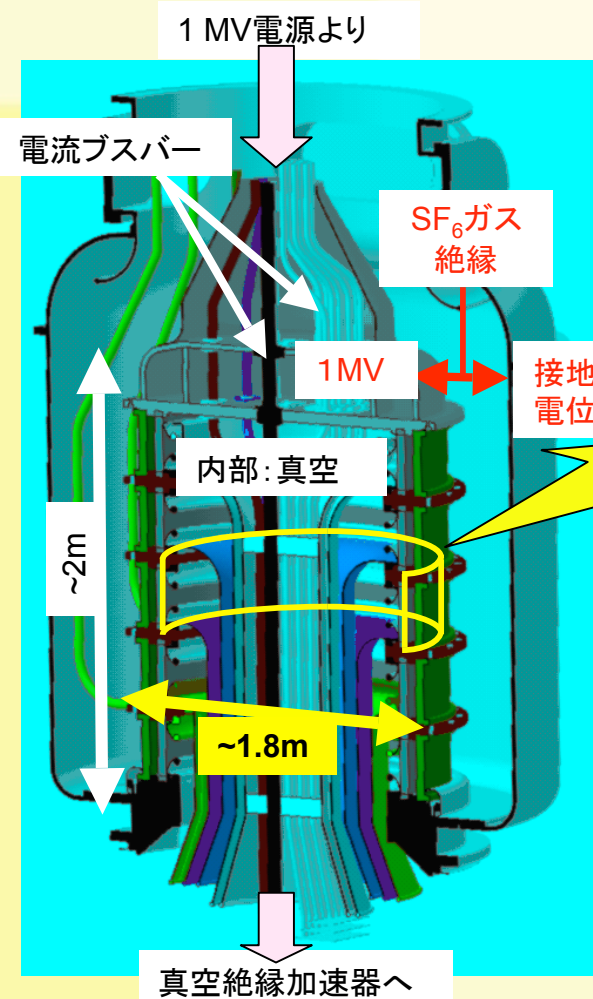
TFコイル導体

- ・ Nb3Sn素線、撚線技術、ジャケット材の開発完了。
- ・ ジャケッティング技術：主要機器を開発し、性能を実証。
- ・ SULTAN施設（スイス）での導体サンプル性能確認試験を本年7月に完了予定。
→ 技術仕様の最終確定，調達契約開始。
- ・ TFコイル導体の調達開始（平成19年度後半）に向け技術的準備はほぼ整った。

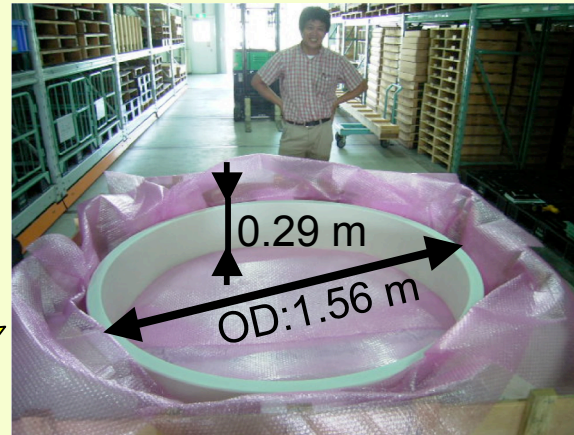


NBシステムの調達準備（日本）

高電圧ブッシング用セラミック開発



世界最大(直径1.56 m)の
アルミナセラミック



H19にメタライズ・ロウ付け、
1/2サイズモデルの試験に成功

CIP成形(新開発)
内側から圧縮して既設水槽
の内径を有効利用、
大口径成形体を実現



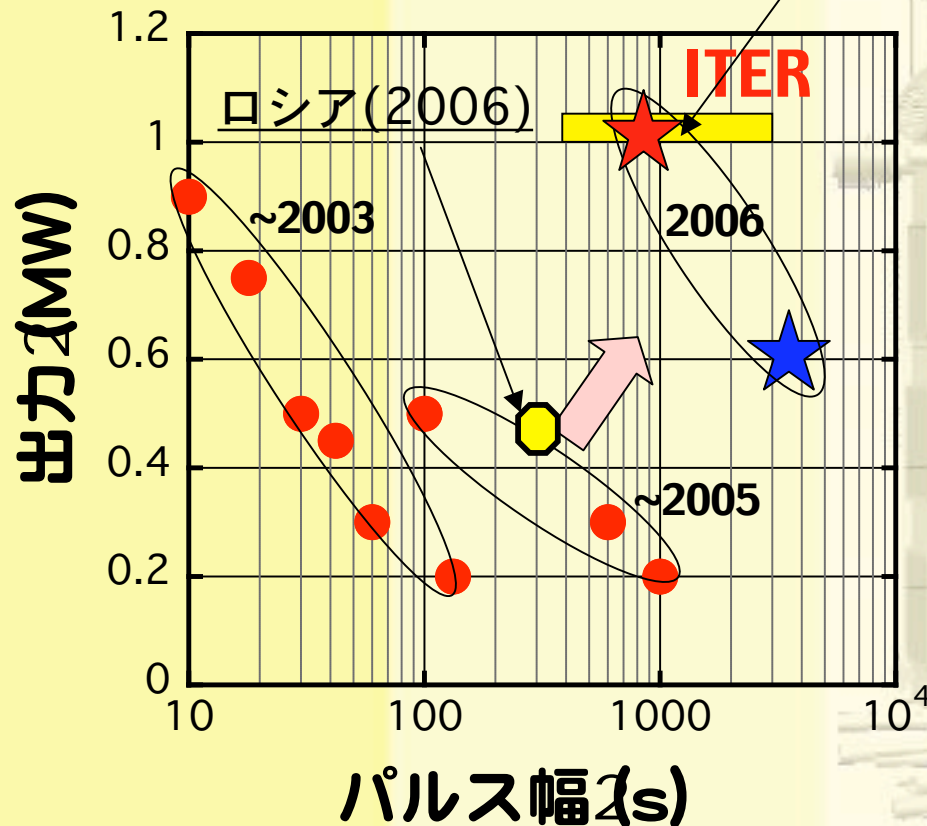
- **ブッシング用大型セラミックの完成**
- 1MeV級試験装置で負イオン加速実験
750keVレベルで0.322A (記録更新中)
- NB試験施設(Padua)を建設し、関係極共同で
開発及び総合性能を確認する計画



ECシステムの調達準備（日本）

JAEAにおける
ジャイロトロン開発

1MW/800秒/55%の達成
(2006年末)



ジャイロトロン：
飛躍的な進展
170GHz/1MW/連続出力
の達成
(ITERの基本条件を満足)

結合系：
結合系の設計、
可動ミラーの試作



まとめ

- ITERは、プラント規模の熱出力で長時間の核融合燃焼を国際共同で初めて実証する実験炉。
- 建設地はカダラッシュに決まり、ITER計画の共同実施協定は平成18年11月21日に調印された。
- 国際チームは、各極チームと協力して、建設サイト、ITER機構の組織立ち上げ、許認可及び調達仕様の確定のための技術活動を急ピッチで実施しているところ。
- 日本国内チームにおいても、協定発効の下に始まる調達のための準備を着々と進めている。

